

**Ricardo Zelenovsky
Alexandre Mendonça**

Arduino

Guia Avançado para Projetos



EDITORA INTERCIÊNCIA
Rio de Janeiro – 2019

Sumário

Capítulo 1: Introdução ao Arduino

1.1. Introdução	3
1.2. O Que É um Microcontrolador ?	4
1.3. O Mercado de Microcontroladores	7
1.4. Como Surgiu Este Livro ?	8
1.5. A Produção Artesanal de Cerveja	14
1.5.1. Brassagem ou Mostura	15
1.5.2. Fervura	16
1.5.3. Fermentação	16
1.5.4. Engarrafamento	17
1.5.5. Controlador para as Etapas de Brassagem e Fervura	17
1.6. Ainda Sobre Como Surgiu Este Livro	20

Capítulo 2: A Plataforma Arduino e a CPU AVR

2.1. A Família Arduino	23
2.2. Comparação entre os Processadores AVR	26
2.3. O Microcontrolador AVR	27
2.3.1. O Registrador de Estado	30
2.3.2. Temporização da Execução das Instruções	31
2.4. Pinagens dos Processadores AVR	33
2.4.1. Pinagem do Arduino Uno (Atmega328)	33
2.4.2. Pinagem do Arduino Pro (Atmega328)	34
2.4.3. Pinagem do Arduino ProMini (Atmega328)	35
2.4.4. Pinagem do Arduino Micro (Atmega32u4)	36
2.4.5. Pinagem do Arduino Nano (Atmega328)	37
2.4.6. Pinagem do Arduino Mega (Atmega2560)	38
2.4.7. Pinagem do Arduino Yún (Atmega32u4)	40
2.4.8. Pinagem do Arduino LilyPad (Atmega328)	41
2.4.9. Pinagem do Arduino Gemma (ATtiny85)	41

2.5. Programação em Linguagem C na Plataforma Arduino	42
2.5.1. Operadores de Bits em Linguagem C	42
2.5.2. Declaração de Variáveis	44
2.5.3. Operando os Registradores do AVR	45
2.5.4. Fluxo de Execução	47
2.5.5. Carregamento do Programa e Monitor Serial	48

Capítulo 3: Porta de Entrada e Saída (GPIO)

3.1. Introdução	51
3.2. Controle das Portas	52
3.3. Configurando um Pino	58
3.4. Funções Alternativas para os Pinos	60
3.5. Gerenciamento das Portas de Entrada e Saída	62
3.6. Registradores das Portas de Entrada e Saída	62
3.6.1. MCUCR – Registrador de Controle do Microcontrolador	63
3.6.2. PORTx – Registrador de Dados da Porta x.....	63
3.6.3. DDRx – Registrador da Direção dos Bits da Porta x	64
3.6.4. PINx – Endereço de Entrada dos Pinos da Porta x	64
3.7. GPIO - Resumo	64
3.8. Exercícios Resolvidos	67
3.9. Exercícios Propostos	76

Capítulo 4: Interrupções

4.1. As Interrupções dos Processadores AVR	83
4.2. Conceitos Básicos sobre Interrupções	86
4.3. Vetores de Interrupção da Família Atmega	89
4.4. Interrupções Externas	93
4.5. Registradores das Interrupções Externas INT7:0	94
4.5.1. EICRA – Registrador A para Controle das Interrupções Externas	95
4.5.2. EICRB – Registrador B para Controle das Interrupções Externas	95
4.5.3. EIMSK – Registrador de Máscara Interrupções Externas	96
4.5.4. EIFR – Registrador de <i>Flags</i> das Interrupções Externas	97
4.6. Registradores das Interrupções Externas PCINT23:0	97
4.6.1. PCMSK2 – Registrador 2 de Máscaras de Alteração de Pino	98
4.6.2. PCMSK1 – Registrador 1 de Máscaras de Alteração de Pino	99
4.6.3. PCMSK0 – Registrador 0 de Máscaras de Alteração de Pino	99
4.6.4. PCIFR – Registrador de <i>Flags</i> de Interrupção por Alteração de Pino	100
4.6.5. PCICR – Registrador de Controle de Interrupção por Alteração de Pino ...	100
4.7. Usando as Interrupções do Arduino	101
4.8. Resumo sobre as Interrupções	102

4.9. Exercícios Resolvidos	105
4.10. Exercícios Propostos	119

Capítulo 5: Introdução aos Temporizadores / Contadores

5.1. Introdução	125
5.2. Descrição de um Temporizador / Contador	130
5.3. Seleção do Relógio de um TC	132
5.4. Acesso aos Registradores de 16 Bits	133
5.5. Uso das Unidades de Comparação	134
5.6. Modos de Operação	138
5.6.1. Modo Normal	138
5.6.2. Modo Zerar na Coincidência de Comparação	140
5.6.3. Modo PWM Rápido	142
5.6.4. Modo PWM com Correção de Fase	145
5.6.5. Modo PWM com Correção de Fase e Frequência	148
5.7. Unidade de Captura de Eventos	151
5.8. Interrupções com o Temporizador/Contador n	153

Capítulo 6: Temporizadores / Contadores (TC) 1, 3, 4 e 5

6.1. Os Temporizadores / Contadores da Família AVR	157
6.2. Detalhamento dos Temporizadores 1, 3, 4 e 5	158
6.3. Detalhamento dos Modos de Operação	160
6.3.1. Modo Normal	161
6.3.2. Modo Zerar na Coincidência de Comparação	162
6.3.3. Modo PWM Rápido	163
6.3.4. Modo PWM com Correção de Fase	164
6.3.5. Modo PWM com Correção de Fase e Frequência	166
6.4. Unidade de Captura de Eventos	167
6.5. Interrupções com o Temporizador n	168
6.6. Registradores do Temporizador n	169
6.6.1. TCCRnA – Registrador A de Controle do Temporizador n	169
6.6.2. TCCRnB – Registrador B de Controle do Temporizador n	171
6.6.3. TCCRnC – Registrador C de Controle do Temporizador n	172
6.6.4. TCNTn – Registrador do Temporizador / Contador n	173
6.6.5. OCRnx – Registrador x de Comparação	173
6.6.6. ICRn – Registrador de Captura de Evento	174
6.6.7. TIMSKn – Registrador de Máscaras de Interrupção do Temporizador n	174
6.6.8. TIFRn – Registrador de <i>Flags</i> de Interrupção do Temporizador n	175

6.7. Abordagem Resumida dos Temporizadores 1, 3, 4 e 5	177
6.8. Exercícios Resolvidos	180
6.9. Exercícios Propostos	207

Capítulo 7: Temporizadores / Contadores (TC) 0 e 2

7.1. Introdução	217
7.2. Detalhamento da Operação do TC2/TC0	218
7.2.1 Geração do Relógio do TC2 (válido só para o TC2)	219
7.2.2 Geração do Relógio do TC0 (válido só para o TC0)	220
7.3. Modos de Operação do TC2/TC0	221
7.3.1 Modo Normal	222
7.3.2 Modo Zerar na Coincidência de Comparação	222
7.3.3 Modo PWM Rápido	223
7.3.4 Modo PWM com Correção de Fase	224
7.4. Interrupções com o TC2/TC0	226
7.5. Operações Assíncronas com o TC2 (válidas só para o TC2)	227
7.6. Descrição dos Registradores do TC2/TC0	228
7.6.1. TCCRnA – Registrador A de Controle do Temporizador n	229
7.6.2. TCCRnB – Registrador B de Controle do Temporizador n	230
7.6.3. TCNTn – Registrador do Temporizador / Contador n	231
7.6.4. OCRnA / OCRnB – Registrador A / B de Comparação	231
7.6.5. ASSR – Registrador de Estado Assíncrono	232
7.6.6. TIMSKn – Registrador de Máscaras de Interrupção do Temporizador n	233
7.6.7. TIFRn – Registrador de <i>Flags</i> de Interrupção do Temporizador n	234
7.6.8. GTCCR – Registrador de Controle Geral do TC2	235
7.7. Abordagem Resumida do TC2/TC0	236
7.8. Exercícios Resolvidos	239

Capítulo 8: Conversor Analógico-Digital (ADC)

8.1. Conceitos Gerais sobre ADC e DAC	247
8.2. Características do ADC do Atmega	258
8.3. Arquitetura do ADC do Atmega	258
8.4. Operação do ADC	259
8.5. Processo de Conversão	262
8.6. Seleção do Relógio e Tempo de Conversão	264
8.7. Alteração do Canal de Entrada e da Referência	266
8.7.1. Momento da Seleção de Canais de Entrada	267
8.7.2. Seleção da Tensão de Referência	268
8.7.3. Impedância das Entradas Analógicas	268
8.8. Cancelamento de Ruído e Offset	268

8.9. Resultado da Conversão do ADC	269
8.10. Registradores do ADC	270
8.10.1. ADMUX – Registrador para Seleção do Multiplexador do ADC	270
8.10.2. ADCSRA – Registrador A de Controle e Estado do ADC	271
8.10.3. ADCSRB – Registrador B de Controle e Estado do ADC	273
8.10.4. ADCL e ADCH – Registrador de Dados do ADC	274
8.10.5. DIDR0 – Registrador 0 para Desabilitar a Entrada Digital	275
8.10.6. DIDR2 – Registrador 2 para Desabilitar a Entrada Digital	275
8.11. Resumo sobre o Conversor Analógico-Digital (ADC)	275
8.12. Exercícios Resolvidos	277
8.13. Exercícios Propostos	292

Capítulo 9: Porta Serial USART

9.1. Introdução	297
9.2. Tópicos Sobre Comunicação Serial	298
9.2.1. Protocolo RS-232	300
9.3. Descrição da USART do AVR	304
9.4. Geração do Relógio	305
9.5. Formato de Dados	308
9.6. Transmissão de Dados	309
9.6.1. Transmissão com 5 a 8 Bits de Dados	310
9.6.2. Transmissão com 9 Bits de Dados	310
9.6.3. <i>Flags</i> de Transmissão e Interrupções	310
9.7. Recepção de Dados	311
9.7.1. Recepção com 5 a 8 Bits de Dados	312
9.7.2. Recepção com 9 Bits de Dados	312
9.7.3. <i>Flags</i> de Recepção e Interrupção	313
9.7.4. <i>Flags</i> de Erros de Recepção	313
9.8. Recepção Assíncrona de Dados	314
9.8.1. Recuperação do Relógio para Recepção Assíncrona	314
9.8.2. Recuperação de Dados para Recepção Assíncrona	315
9.8.3. Faixa de Operação em Modo Assíncrono	315
9.9. Modo de Comunicação Multiprocessador	317
9.9.1. Usando a Comunicação Multiprocessador	318
9.10. Síntese das Interrupções da USART	319
9.11. Registradores da USART	320
9.11.1. UDRn – Registrador de Dados	321
9.11.2. UCSRnA – Registrador A de Estado e Controle da USART	321
9.11.3. UCSRnB – Registrador B de Estado e Controle da USART	323
9.11.4. UCSRnC – Registrador C de Estado e Controle da USART	325
9.11.5. UBRRLn e UBRRHn – Registradores de <i>Baud Rate</i>	327
9.12. Resumo Sobre a Porta Serial do AVR	328
9.13. Exercícios Resolvidos	330

9.14. Exercícios Propostos	336
----------------------------------	-----

Capítulo 10: Serial Peripheral Interface (SPI)

10.1. Introdução	341
10.2. Conceituação do Barramento SPI	342
10.2.1. Polaridade e Fase do Relógio	343
10.3. Interface SPI do Atmega	346
10.4. Detalhes do Pino #SS	349
10.5. Registradores da Interface SPI	350
10.5.1 SPCR – Registrador de Controle da SPI	350
10.5.2 SPSR – Registrador de Estado da SPI	352
10.5.3 SPDR – Registrador de Dados da SPI	352
10.6. Estudo da SRAM 23LC1024	353
10.7. Resumo da Porta SPI do AVR	356
10.8. Exercícios Resolvidos	358
10.9. Exercícios Propostos	371

Capítulo 11: Porta Serial em Modo SPI (Modo MSPIM)

11.1. Introdução	375
11.2. Características do Modo SPI Mestre (MSPIM)	376
11.3. Geração do Relógio	377
11.4. Formato do Trem de Bits	378
11.5. Inicialização da USART em Modo MSPIM	379
11.6. Transferências de Dados	379
11.7. Resumo das Interrupções da USART em Modo MSPIM	380
11.8. Registradores da USART para o Modo MSPIM	381
11.8.1. UDRn – Registrador de Dados	382
11.8.2. UCSRnA – Registrador A de Estado e Controle da USART	382
11.8.3. UCSRnB – Registrador B de Estado e Controle da USART	383
11.8.4. UCSRnC – Registrador C de Estado e Controle da USART	384
11.8.5. UBRRLn e UBRRHn – Registradores de <i>Baud Rate</i>	385
11.9. Sugestão de Conexão	386
11.10. Resumo sobre a USART em Modo MSPIM	386

Capítulo 12: Interface Serial a 2 Fios (TWI ou I²C)

12.1. Introdução	391
12.2. Fundamentos do Barramento I ² C	392
12.3. Protocolo TWI	399
12.3.1. Transferência de Bits	399

12.3.2. Condição de START e STOP	400
12.3.3. Formato do Pacote de Endereços	401
12.3.4. Formato do Pacote de Dados	402
12.3.5. Transmissão pelo Barramento TWI	403
12.3.6. Arbitragem do Barramento TWI	404
12.4. Módulo TWI	406
12.5. Emprego do Módulo TWI	409
12.6. Modos de Operação e Códigos do Módulo TWI	412
12.6.1. MT – Mestre Transmissor	414
12.6.2. MR – Mestre Receptor	417
12.6.3. ER – Escravo Receptor	419
12.6.4. ET – Escravo Transmissor	422
12.7. Registradores do Módulo TWI	425
12.7.1. TWBR – Registrador de Taxa de Bits do TWI	425
12.7.2. TWCR – Registrador de Controle do TWI	425
12.7.3. TWSR – Registrador de Estado do TWI	427
12.7.4. TWBR – TWDR – Registrador de Dados do TWI	428
12.7.5. TWBR – Registrador de Endereço (Escravo) do TWI	429
12.7.6. TWAM – Registrador de Máscara de Endereço (Escravo) do TWI	429
12.8. Resumo sobre a Interface TWI	430
12.9. Exercícios Resolvidos	434
12.10. Exercícios Propostos	462

Capítulo 13: Comparador Analógico

13.1. Fundamentos da Comparação Analógica	465
13.2. Entrada Multiplexada do Comparador Analógico	466
13.3. Registradores do Comparador	467
13.3.1. ADCSRB – Registrador B de Controle e Estado do ADC	467
13.3.2. ACSR – Registrador de Estado e Controle do Comparador Analógico	468
13.3.3. DIDR1 – Registrador 1 para Desabilitar Entrada Digital	469
13.4. Resumo sobre Comparador Analógico	470
13.5. Exercícios Resolvidos	471
13.6. Exercícios Propostos	475

Capítulo 14: Mostrador LCD

14.1. Introdução ao Mostrador LCD	479
14.2. Pinagem dos Mostradores LCD	480
14.3. Formato do LCD	482
14.4. Operação do LCD	483
14.5. Controle de Acesso ao LCD	485
14.5.1 Envio de Instruções (RS = 0 e RW = 0)	487

14.5.2	Leitura do Bit Ocupado e Conteúdo de AC (RS = 0 e R/W = 1)	488
14.5.3	Escrita de Dados (RS = 1 e R/W = 0)	489
14.5.4	Leitura de Dados (RS = 1 e R/W = 1)	489
14.6.	Reset do Mostrador LCD	489
14.7.	Temporização para Acesso ao Mostrador LCD	491
14.8.	Interface com Mostradores LCD	491
14.9.	Resumo sobre o LCD	493
14.10.	Exemplo de Programa para o LCD	493
14.10.1.	Exemplo com a Biblioteca LiquidCrystal	494
14.10.2.	Exemplo de Rotinas Rápidas com o LCD	494
14.11.	Mostrador LCD Gráfico	500
14.11.1.	Envio de Instruções para o LCD Gráfico (D/I = 0 e R/W = 0)	502
14.11.2.	Leitura do Byte de Estado (D/I = 0 e R/W = 1)	503
14.11.3.	Escrita de um Dado (D/I = 1 e R/W = 0)	504
14.11.4.	Leitura de um Dado (D/I = 1 e R/W = 1)	504

Capítulo 15: MPU 6050: Acelerômetro e Giroscópio

15.1.	Introdução	507
15.2.	Princípios sobre Acelerômetros e Giroscópios	508
15.3.	O Circuito do MPU 6050	511
15.3.1.	Placas com o MPU 6050 para Arduino	511
15.3.2.	Conexão Elétrica do MPU 6050 (GY-521)	512
15.4.	A Operação do MPU 6050	513
15.4.1.	Interpretação das Leituras do MPU 6050 (GY-521)	514
15.4.2.	Preparação do MPU 6050 (GY-521) e Barramento I ² C (TWI)	517
15.4.3.	Retirada do MPU do Modo <i>Sleep</i> e Teste da Comunicação	518
15.4.4.	Realização do Self_Test do MPU	518
15.4.5.	Calibração do MPU	520
15.4.6.	Seleção da Banda Passante do Filtro Digital Passa Baixas (LPDF)	520
15.4.7.	Seleção da Taxa de Amostragem do MPU 6050	521
15.4.8.	Emprego da FIFO do MPU 6050	522
15.4.9.	Interrupção com o MPU 6050	523
15.4.10.	Seleção de Limiar para a Detecção de Movimento	524
15.4.11.	Listagem de Todos os Registradores do MPU	525
15.5.	Resumo para Uso do MPU 6050	526
15.6.	Exercícios Resolvidos	529